



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

SONDAJ AKIŞKANI ISIL REOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ÇALIŞMA: KLASİK VİSKOMETRE VE ISIL REOMETRE

**ALİ ETTEHADİ OSGOUEİ
GÜRŞAT ALTUN
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**UMRAN SERPEN
NTU JEOTERMAL DANIŞMANLIK**

SONDAJ AKIŞKANI ISIL REOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ÇALIŞMA: KLASİK VİSKOMETRE VE ISIL REOMETRE

Ali Ettehadı OSGOUEİ
Gürşat ALTUN
Umran SERPEN

ÖZET

Formasyon sıcaklığı ve sondaj akışkanı özellikleri kuyuda çamurun dolaşımı ve/veya kuyunun kapalı olması durumlarında birbirlerini etkileyen iki önemli değişken parametredir. Bu parametreler jeotermal kuyu sondajında daha da fazla bir anlam kazanmaktadır. Sondaj akışkanının reolojik ve termofiziksel özelliklerinin kuyudaki sıcaklık değişimlerinden etkilendikleri bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, sıcaklık değişimine bağlı olarak sondaj akışkanının gerçek davranışı hakkındaki bilginin eksik olması sondaj operasyonlarının programlanmasında birtakım zorluklara yol açabilir. Sıcaklığın çamur davranışına olan etkisi düşünüldüğünde, sondaj çamurunun yüksek sıcaklıklardaki reolojik özelliklerin mutlak bir şekilde ısıtma yöntemi uygulandıktan sonra klasik viskometre kullanılarak belirlenmesinde hatalar olabilir.

Bu çalışmada üç farklı çamur türünün (bentonit temelli çamur, sepiolit temelli çamur ve lignosülfonat çamur) reolojik özellikleri deneysel olarak ısıtma reometre kullanarak dinamik ve yüksek sıcaklık/basınç koşullarında ölçülmüştür. Çamur örneklerinin viskozite ölçümleri 40-260°C sıcaklık aralığında 50 bar sabit basınçta ve altı farklı kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Örnek akışkanların reolojik özellikleri aynı sıcaklık aralığında 16 saat ısıtma yapıldıktan ve oda sıcaklığına soğutulduktan sonra klasik viskometre kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar çamur örneklerinin ısıtma reolojik özelliklerinin ve iki yöntemin farklılığının daha iyi anlaşılabilmesi için karşılaştırılmıştır.

Bulgular klasik viskometre kullanılarak elde edilen örneklerin viskozite ölçümlerinin gerçek değerlerden farklı olduğunu göstermiştir. Reometre ve klasik viskometre kullanılarak ölçülen viskozitelerdeki farklılık artan sıcaklık ile daha da artmaktadır. Bu nedenle, ısıtma işlemi yapıldıktan sonra oda sıcaklığına soğutulmuş klasik viskometre ile yapılan örnek çamurların viskozite değerlerine göre yapılan hidrolik optimizasyon dikkate değer hatalara yol açabilecek, böylece kuyu sondaj programlarından sapmalara sebep olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Viskometre, Reometre, Termal viskozite, Sondaj çamurları, Isıtma yöntemi.

ABSTRACT

Formation temperatures and/or drilling fluid properties are two important versatile parameters during circulation and shut-in processes. These parameters are getting more meaning in geothermal well drilling. It is a well-known fact that the thermo physical and rheological properties of drilling fluid are affected by the temperature variation of borehole. Therefore, poor knowledge of the actual behavior of the drilling mud properties with varying temperature might cause some sort of difficulties in programming drilling operations. Conventional viscometer along with thermal aging method which is commonly used to determine rheological properties of drilling mud can be misleading to consider effect of temperature on drilling mud behavior.

This study is based on an experimental measurement of rheological properties in three different mud types (fresh-water bentonite mud, sepiolite based mud and KCl polymer mud) under dynamic and high temperature/pressure conditions using thermal Rheometer. The viscosities of mud samples were measured in a programmed temperature range of 40 to 260°C at 50 bar constant pressure and six different shear rates. Rheological properties of sample fluids were also measured using conventional viscometer after 16 hours thermal aging at the same elevated temperatures and cooling down to room temperature. The obtained results have been compared to build a better understanding of thermal rheological properties of mud samples and difference between the two methods.

Findings indicated that viscosity of samples measured by conventional viscometer were different than actual values. This difference in viscosity measurement using Rheometer and conventional viscometer increased more with increasing temperature. Therefore, hydraulic optimization based on conventional viscometer rheological measurements conducted after thermal aging and cooling process of mud samples may lead to noticeable errors that causes misleading through drilling program.

Key Words: Viscometer, Rheometer, Thermal viscosity, Drilling muds, Thermal aging.

1. GİRİŞ

Reoloji maddenin akışı ve deformasyonu çalışmasıdır. Viskozite deformasyona neden olan kuvvete karşı madde tarafından geliştirilen direncin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Sondaj operasyonlarında viskozite ilişkili konuların çoğunda kayma hızı (shear rate) etkindir. Bu nedenle, sondaj akışkanlarının viskozitesi (akmazlık) yoğunlukla izlenen ve kontrol edilen bir özelliktir. Sondaj akışkanının kesintileri bünyesinde taşıyabilmesi veya tutabilmesi öncelikle çamur viskozitesinin karakteristik bir fonksiyonudur.

Sondaj akışkanı yüzeyde hazırlandıktan sonra kuyu içerisindeki sirkülasyonu boyunca çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Bu faktörlerden en önemlilerinden birisi sıcaklıktır. Genel olarak sıcaklık artan derinlikle birlikte artmaktadır. Kuyu içerisinde dolaşan çamur formasyonlar ile doğrudan temas halinde olmasından dolayı bu sıcaklık artışını iletim yolu ile bünyesine alır. Kuyudan geri dönen akışkan daha sıcaktır. Bu sıcaklık değişimi nedeniyle akışkanın sondaj için önemli özelliklerinden biri olan viskozitesi üzerinde etkisi olmaktadır. Artan sıcaklık ile beraber sondaj akışkanının akmazlığının azaldığı pek çok çalışmada rapor edilmiştir. Özellikle sıcaklığın çok etkin olduğu jeotermal sondajlarda bu etki daha da fazla görülmektedir. Öyle ki sıcaklığın çok yüksek değerlere ulaşmasından dolayı sondaj akışkanı özelliklerini kaybedebilmektedir. Sondaj akışkanının flokülasyon nedeniyle görevini yerine getirememesinin ana sebeplerinden bir tanesi akışkanın yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmasıdır, [1].

Sondaj mühendisliği uygulamalarında viskozite birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Kuyu kontrolü, çimentolama, matkap optimizasyonu, kuyu temizliği ve kuyu hidrolik optimizasyonu gibi uygulamalarda viskozite etkin bir parametre olarak yer alır. Özellikle sondaj hidrolik hesaplarında reolojik modellerle birlikte viskozite önemli bir parametredir. Akmazlık yoğunluğun bir fonksiyonudur ve sıcaklık ile önemli değişim göstermektedir. Sıcaklığın etkin olduğu sistemlerde yüzeyde ve kuyu dibinde çok farklı sıcaklık değerlerinin olmasından dolayı sondaj akışkanının yoğunluğu ve akmazlığı oldukça farklılık gösterir. Dolayısı ile akmazlığın doğru olarak belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Hesaplanan/ölçülen değerlerde farklılık olması sondaj hidroliği tasarımını doğrudan etkileyeceği için kuyu stabilitesi sorunları yaşanabileceği gibi sondaj akışkanının en önemli görevlerinden birisi olan sondaj kesintilerinin kuyudan uzaklaştırılması görevini de yerine getirememesine, nihayetinde kuyunun terkine sebep olabilecektir.

Sondaj akışkanlarının akmazlığının ölçülmesi geleneksel olarak klasik Coutte tipi rotasyonel viskometre kullanılarak oda sıcaklığında ve atmosferik basınç altında gerçekleştirilmektedir. Sondaj akışkanına sıcaklığın etkisini belirlemek için normal koşullar altında hazırlanan sondaj çamurları Amerikan Petrol Enstitüsü'nün (American Petroleum Institute) tanımladığı standarda [2] uygun olarak 16 saat belirlenen sıcaklıkta döner fırın kullanılarak bir hücrenin içerisinde yaşlandırılır. Sıcaklık

yaşlandırması (thermal aging) yapılmış çamur örneğinin daha sonra soğuması beklenir ve viskometre ile belirli kayma hızlarında akma ölçümleri yapılır. Bu yöntem genellikle sondaj sektörü tarafından uygulanan geleneksel bir yöntemdir. Ancak gerçek bir kuyudaki viskozite değişimlerinin gözlenmesi açısından yeterli olmayabilir.

Sondaj akışkanı kuyu dibine kadar yavaş yavaş ısınır ve daha sonra yüzeye gelirken bir soğumaya maruz kalır. Dolayısıyla akma hızının kuyu içerisinde değişkenlik gösterdiği bir gerçektir. Geleneksel viskometre ölçümlerinde sondaj çamuru tek bir sıcaklık değerinde yaşlandırıldığı için viskozitede oluşabilecek değişimler örneğin soğutulmuş ölçülmesi nedeniyle gözlemlenebilir. Diğer bir ifadeyle, geleneksel viskometre ölçümleri sondaj akışkanının tek bir sıcaklık değerinde yaşlandırılması ile gerçekleştirilmektedir. Gerçek kuyu koşullarında sıcaklık sirkülasyon boyunca değişken olacağından geleneksel viskometre ile elde edilen akma hızı değerleri doğru değerleri veremeyebilir.

Çok sayıda araştırmacı yüksek sıcaklık ve yüksek tuz içeren ortamlarda kullanılacak su bazlı bir sondaj çamuru formülasyonu üzerine çalışmıştır, Carney vd. ([3], [4] ve [5]), Hillscher ve Clements [6], Moussa [7], Guven vd. [8], Zilch vd. [9], Serpen vd. [10], Serpen [11] ve Serpen [12]. Amaç yüksek sıcaklıklı ortamlar için düşük maliyetli ve güvenli sondaj operasyonlarını gerçekleştirmek için uygun viskozite ve su kaybı özelliklerine sahip çamur formülasyonu geliştirmektir. Böylesi bir çamur formülasyonu jeotermal ortamlardaki koşullara benzeyen petrol ve gaz kuyularında da kullanılabilir. Yukarıda belirtilen çalışmaların ortak bir noktası çamur örneklerinde sepiolit kilinin kullanılmasıdır.

Serpen vd. [10] deneysel çalışmada, oda koşullarında hazırlanan sepiolit çamurlarını bentonit ve attapulgit çamurlarıyla karşılaştırmışlar ve sepiolit çamurlarının farklı tuzluluklarda daha iyi reolojik ve su kaybı özelliği verdiğini göstermişlerdir. Tane boyunun sepiolit çamurlarının reolojik özelliklerine üzerine etkisini oda sıcaklığı koşulunda Carney vd. [3] çalışmış ve önemli farklılıklar olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Bentonit temelli çamurların oda koşullarında karıştırma hızı, karıştırma zamanı ve tane boyutu değişiminin reolojik ve su kaybı özellikleri üzerine olan etkileri önemsizdir ve kolayca ihmal edilebilir olduğu bilinen bir gerçektir. Bunun aksine, Altun vd. [13] yaptıkları deneysel bir çalışmada sepiolit temelli çamurların yukarıda belirtilen koşullarda tamamen farklı bir şekilde davrandıklarını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada, karıştırma hızı ve zamanı artırıldığında ve tane boyutu azaltıldığında sepiolit çamurlarının daha iyi viskozite ve filtrasyon özellikleri verdikleri belirtilmektedir.

Sepiolit temelli çamurların filtrasyon özelliğinin zayıf olduğu iyi bilinen bir gerçektir ve daha önceden birçok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir, Carney ve Meyer [3], Serpen vd. [10] ve Altun vd. [13]. Yüksek su kaybı problemi sodyum polyakrilat (cypan) ve sentetik resin (resinex) gibi polimerlerin kullanılmasıyla bir dereceye kadar çözülmüştür, ancak saha kullanımı için istenen değerlerden uzaktır.

Santayo vd. [14] sahada kullanılan on bir farklı çamurun reolojik davranışını ısı reometrede incelemiş ve reolojik parametrelerin sıcaklık ile değişimini veren bir ampirik korelasyon geliştirmişlerdir. Çalışmalarında çamur sıcaklığını 25-180° C aralığında ve sabit hızda (100 dev/dak) yapmışlardır. Diğer reometre hızları (3-600 dev/dak) göz önüne alınmaması çalışma için bir eksiklik meydana getirmektedir.

Bu çalışmada gerçek koşulları daha iyi simüle etmek amacıyla basınç altında sıcaklık artışı ölçümü yapabilen ısı reometre ile klasik viskometre yönteminin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Akma hızı ve sıcaklık arasındaki etkileşimi görmek amacıyla bentonit bazlı, sepiolit bazlı ve lignosülfonat çamur olmak üzere 3 farklı çamur tipi için çalışma gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak çamur örnekleri belirli sıcaklık değerlerinde yaşlandırılmış ve soğutulduktan sonra viskometre ile akma hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra aynı çamur örneklerinin akma hızları 40-260° C (\approx 100-500° F) sıcaklık aralıklarında ve 50 bar (\approx 700 psi) basınç altında ısı reometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar sıcaklığın reoloji üzerine olan etkisini açık bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır.

2. YÖNTEM VE MALZEMELER

Deneysel çalışma sırasında hazırlanan örnek çamurların reolojik özelliklerini belirlemek için API RP-13B Standardı [2] kullanılmıştır. Standartların oluşmadığı veya yeterli olmadığı durumlarda saha pratikleri takip edilmiştir. Çalışmada kullanılan bentonit ve sepiolit kil bazlı bütün çamur örnekleri 350 ml tatlı su içerisine 20 g kilin farklı konsantrasyonlarda diğer katkı maddeleri ile birlikte karıştırılması ile hazırlanmıştır. Kullanılan katkı maddeleri bu tür çamurların yapımında yaygın olarak kullanılan polimerler (su kaybı ve reoloji kontrol ediciler), soda külü, kostik ve glikol olarak sıralanabilir. Tablo 1’de çalışmada kullanılan çamurların kompozisyonları verilmektedir. Katkı maddelerinin kullanım miktarları lbm olarak 1 bbl suya (350 lbm) eklenen kütleli miktardır.

Çalışmanın ilk fazında tabloda tanımlanan çamur örnekleri için farklı sıcaklık değerleri için 16 saat boyunca API standartlarına uygun olarak ısıtılıp soğutulmuş ve yapılmıştır. 16 saat sonunda çamur örnekleri soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra klasik viskometre (Fann 35A) ile reolojik ölçümler gerçekleştirilerek sıcaklığın viskozite üzerine olan etkisi belirlenmiştir.

Çalışmanın ikinci fazında bütün çamur örneklerinin reolojik ölçümleri ısıtılıp soğutulmuş (Fann Model 50SL) ile 40-260°C sıcaklık aralığında ve 50 bar basınç altında gerçekleştirilmiştir. 10°C sıcaklık artışları ile her bir sıcaklık değerinde altı farklı kayma hızında ölçümler alınmıştır.

Her iki yöntemden elde edilen reolojik sonuçlar çamur örneklerinin ısıtılıp soğutulmuş reolojik özelliklerinin ve iki yöntemin farklılığının daha iyi anlaşılabilmesi için karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Tablo 1: Çamur kompozisyonları.

İçerik	Miktar (lbm/bbl)		
	Lignosülfonat Çamuru	Bentonit/Polimer Çamuru	Sepiolit Bazlı Çamur
	SM1	SM2	SM3
Sepiolit	-	-	20
NaoH	0.06	0.06	-
Soda Ash	0.1	0.1	0.1
Bentonit	20	20	-
Polimer - 1	-	2	4
Polimer - 2	-	-	5
CFL	3	-	-
CMC	3	-	-
PAC-LV	-	2	-
XCD	-	2	-

Kompozisyonu oluşturan öğeler, sırasıyla kullanılan kil, soda külü, viskozite kontrol edici ticari polimer, su kaybı kontrol edici ticari polimer ve stabilite sağlayıcı glikoldür.

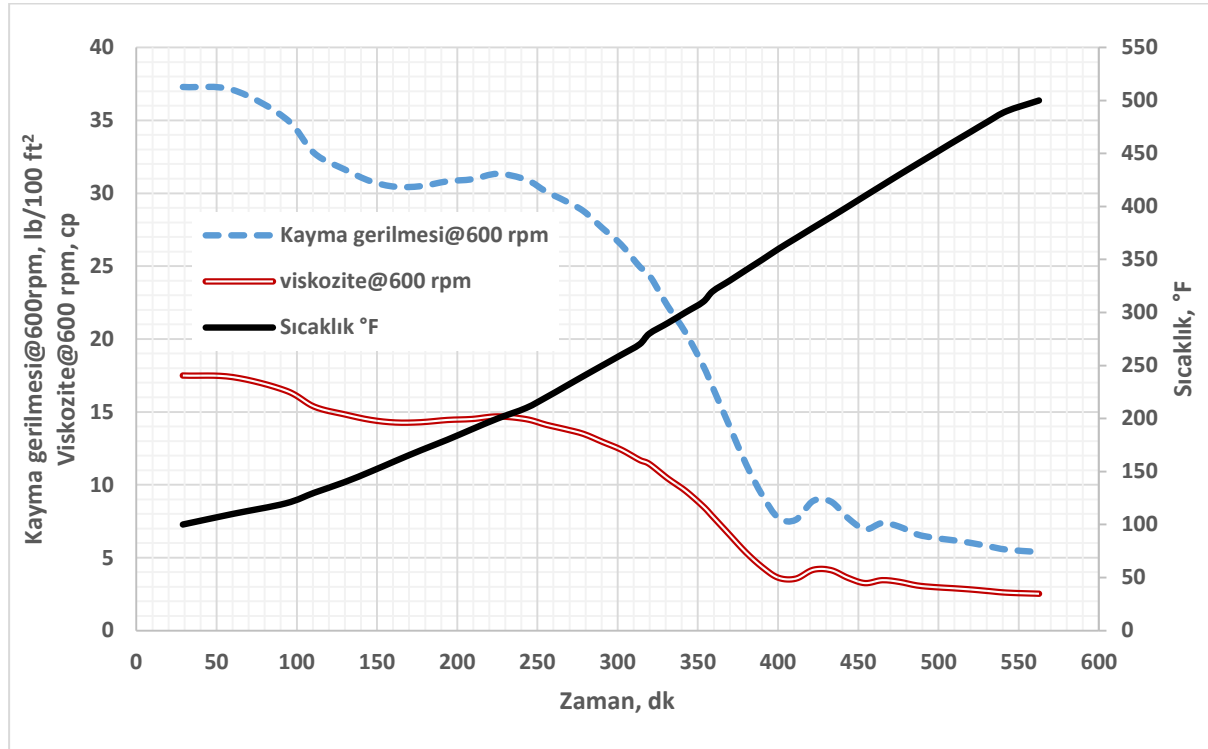
3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yukarıda Bölüm 2’de tanımlanan çamurların reolojik davranışları hem klasik viskometre hem de ısıl reometreden elde edilerek elde edilen bulgular şekiller halinde bu bölümde tartışılarak verilmektedir.

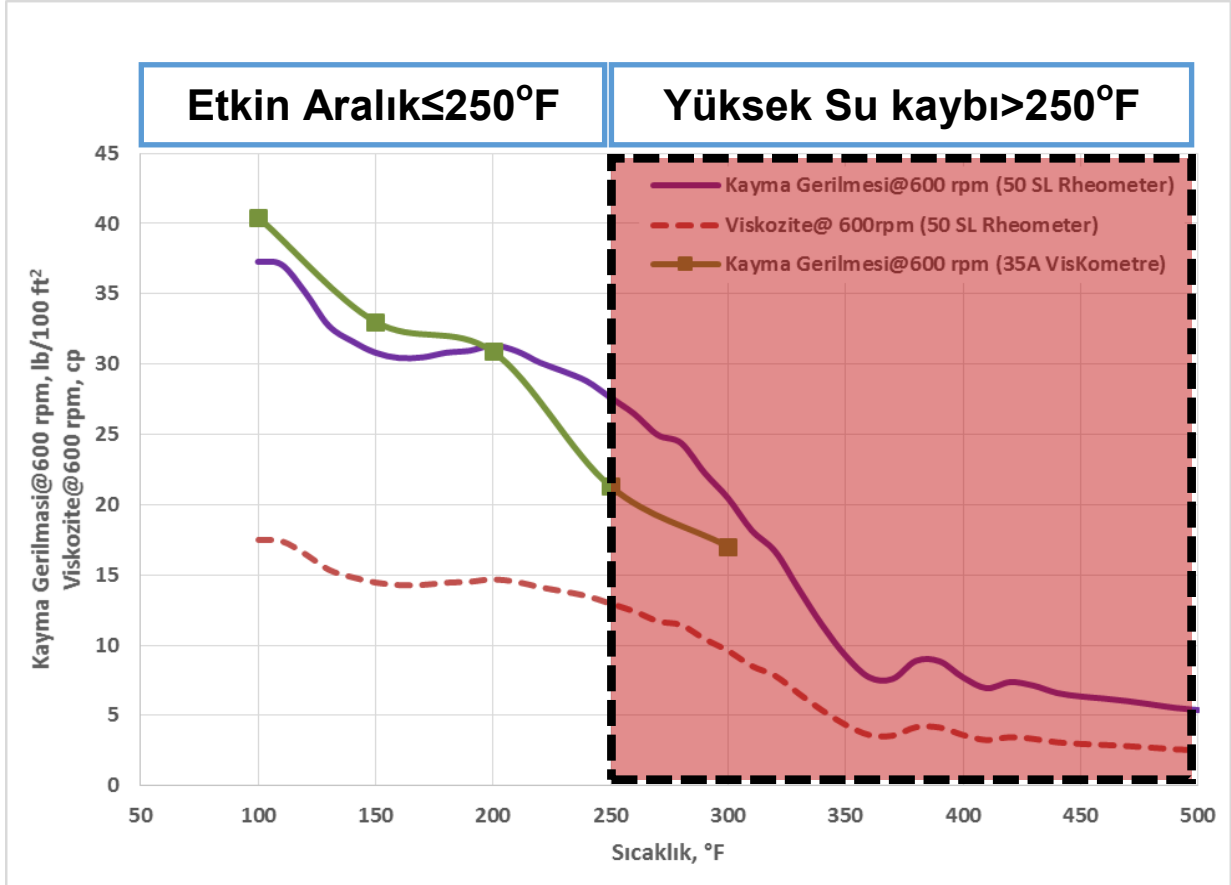
3.1. Lignosülfonat Çamuru Viskozite Davranışı

Isıl reometre kullanılarak lignosülfonat örneklerinden elde edilen reolojik davranış değişimi Şekil 2’de verilmektedir. Grafikte lignosülfonat çamurunun 600 dev/dak hızda elde edilen kayma gerilesi ve viskozitesinin sıcaklık ile olan değişimi görülmektedir. 600 dev/dak hızda elde edilen görünür viskozite değeri 600 dev/dak hızda elde edilen kayma gerilmesinin yarısıdır. Grafikte aynı zamanda sıcaklığın zaman ile değişimi de gösterilmektedir. 40° C ($\approx 100^\circ$ F) sıcaklıktan 260° C ($\approx 500^\circ$ F) sıcaklığa artış yaklaşık 560 dak sürmüştür ve deney süresince doğrusala yakın bir sıcaklık artışı gözlenmektedir. Beklendiği gibi artan sıcaklık ile birlikte viskozitede azalmalar meydana gelmiştir. Çamur örneği reolojik kararlılığını 300° F sıcaklığa kadar başarılı bir şekilde korumuş, ancak daha da artan sıcaklık ile birlikte kararlılığını yitirmekte, çamur için gerekli reolojik koşulları sağlayamamaktadır.

Bu çamur türü için 600 dev/dak hızda klasik viskometre ve ısıl reometreden elde edilen sonuçlar Şekil 2’de çizdirilerek karşılaştırma yapılmıştır. Klasik viskometreden elde edilen kayma gerilmesi değerleri ısıl reometreden elde edilen değerlerden 200° F sıcaklığa kadar beklediği gibi daha yüksektir. Ancak 200° F sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda davranış farklılaşmakta ve klasik viskometreden elde edilen değerler daha düşüktür. Yaşlandırma yapılmış çamurların viskozitelerinin artan yaşlandırma sıcaklığı ile düşükleri klasik viskometre ölçümlerinde de belirlenmiştir, ancak flokülasyon nedeniyle klasik viskometrelerde 300° F sıcaklığa kadar ölçüm yapılabilmektedir. Su kaybı ölçümleri sonuçlarıyla (bu çalışmada verilemle birlikte) değerlendirildiğinde bu çamurların 250° F sıcaklığa kadar etkin bir reoloji sağlayabildikleri gözlenmektedir. Bu çamur türü için iki farklı yöntemden elde edilen viskozitelerin tüm sıcaklıklarda aynı eğilimi göstermemesi (yüksek ya da düşük) ilginç bir davranıştır ve sondaj hidrolik vb. analizlerde önemli farklılıklara neden olabilir.



Şekil 1. Sıcaklığın reolojiye etkisi, (Lignosulfonat çamur, YSYB reometre, 700 psi basınç farkı).



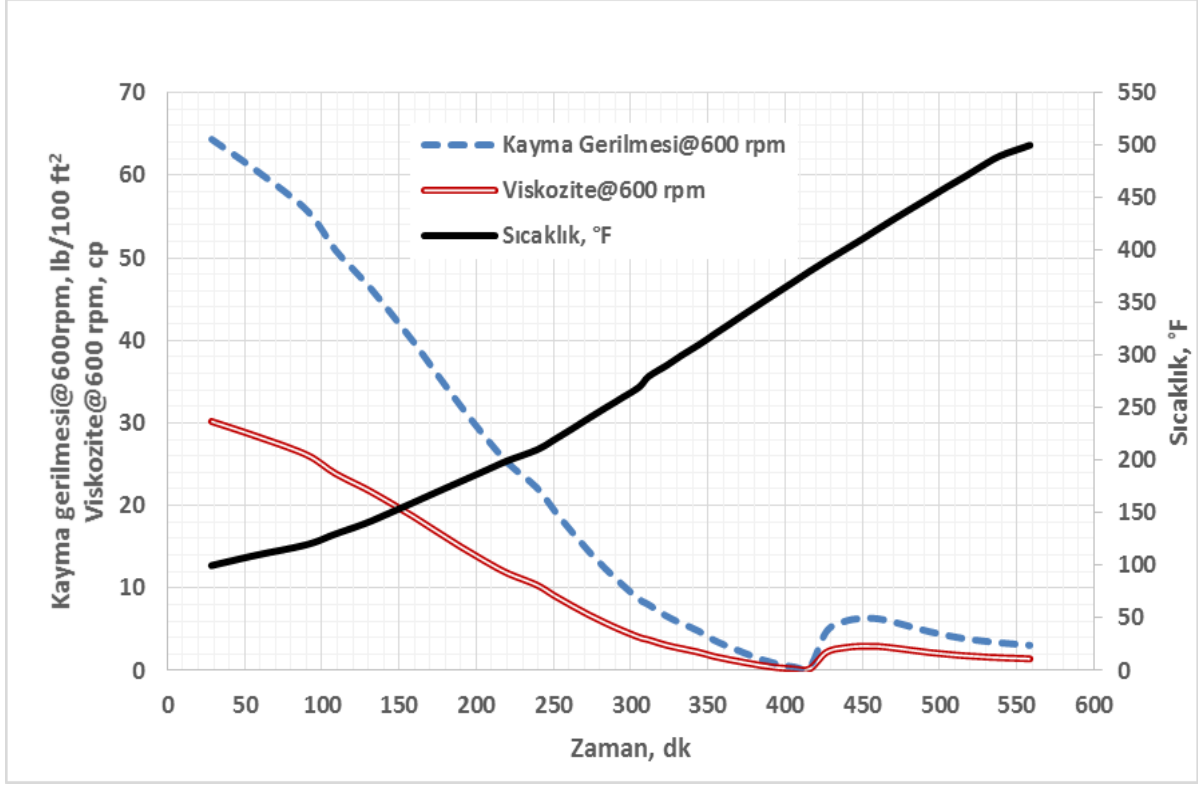
Şekil 2. Sıcaklığın reolojiye etkisi, (Lignosulfonat çamur, YSYB reometre, Klasik viskometre).

3.2. Bentonit/polimer Çamuru Viskozite Davranışı

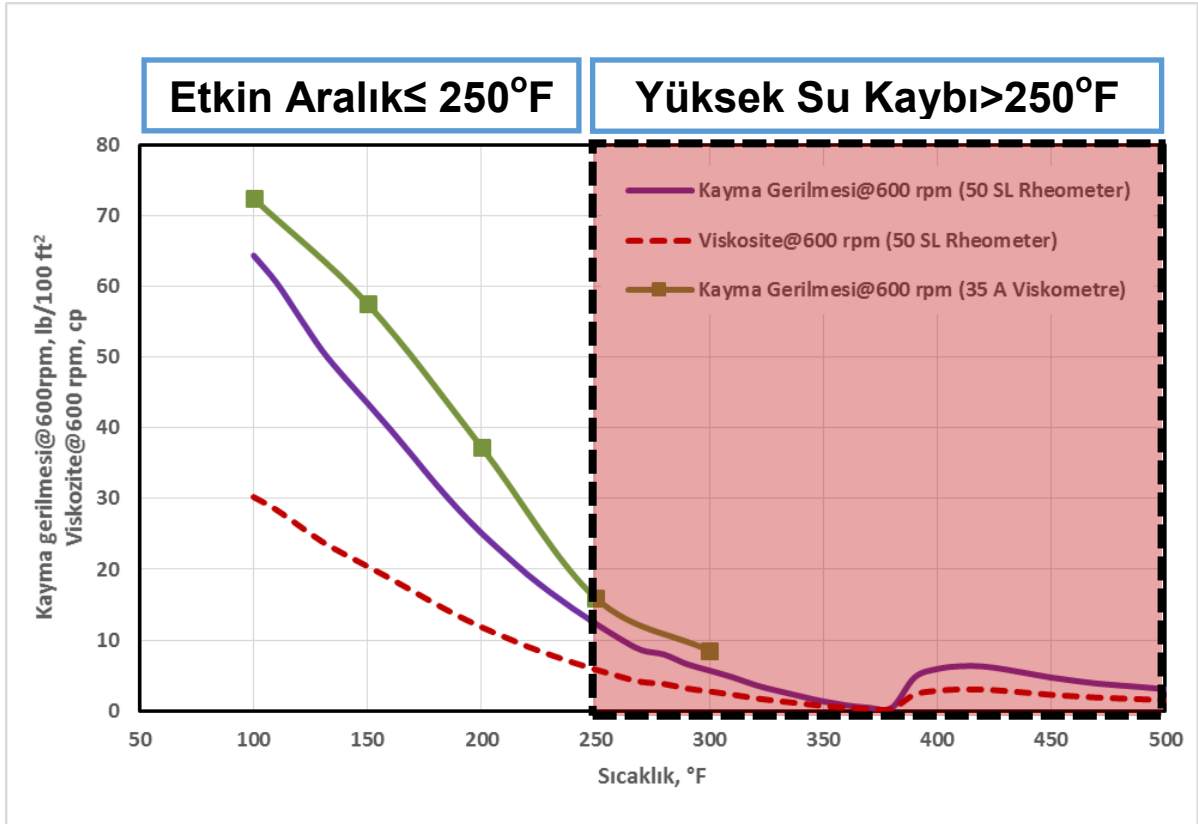
Isıl reometre kullanılarak elde edilen reolojik davranış değişimi Şekil 3'te verilmektedir. Grafikte bentonit/polimer çamurunun 600 dev/dak hızda elde edilen kayma gerilesi ve viskozitesinin sıcaklık ile olan değişimi görülmektedir. Sıcaklık artışı kontrolü lignosülfonat çamurundaki gibi doğrusal artmakta ve azami sıcaklık değerine ulaşmak yaklaşık 560 dak sürmektedir. Reoloji davranışı lignosülfonat çamuruna benzemekle birlikte, bentonit/polimer çamurunun kararlılığını yitirmesi daha kısa sürede gerçekleşmekte ve aynı sıcaklık değerleri için lignosülfonat çamuruna göre daha küçük viskozite değerleri gözlenmektedir. 400° F sıcaklıkta bentonit/polimer çamuru herhangi bir viskozite değeri vermemektedir. Ayrıca, 300° F sıcaklığın üzerinde gözlenen viskozite artışı çamurun tamamen floküle olması nedeniyledir.

Bu çamur türü için klasik viskometreden elde edilen sonuçlar ile ısıl reometreden elde edilen sonuçlar Şekil 4'te çizdirilerek karşılaştırma yapılmıştır. Klasik viskometreden elde edilen viskozite değerleri ısıl reometreden elde edilen viskozite değerlerinden lignosülfonat çamurlarından farklı olarak her sıcaklıkta daha yüksektir. Klasik viskometreden elde edilen viskozite sonuçları ısıl reometreden elde edilen viskozite sonuçlardan fazla olmakla birlikte artan sıcaklıkla birlikte özellikle 250° F sıcaklıktan sonra azalmaktadır. Bu çamur türünden klasik viskometreden elde edilen daha yüksek viskozite sonuçları beklentilere paraleldir.

Su kaybı ölçüm sonuçlarıyla (bu çalışmada verilmemesine rağmen) birlikte değerlendirildiğinde bentonit/polimer çamurlarının 250° F sıcaklığa kadar etkin bir reoloji sağlayabildikleri gözlenmektedir. Lignosülfonat çamurlarında olduğu gibi yüksek sıcaklık ortamında bu çamurların kullanılmaları da uygun değildir ve önemli kuyu stabilitesi sorunlarıyla birlikte sondaj hidroliği tasarımında 250° F sıcaklığa kadar kullanılmaları durumunda dahi yanlış sonuçlar elde edilmesine yol açabilir.



Şekil 3. Sıcaklığın reolojiye etkisi, (Bentonit/polimer çamur, YSYB reometre, 700 psi basınç farkı).

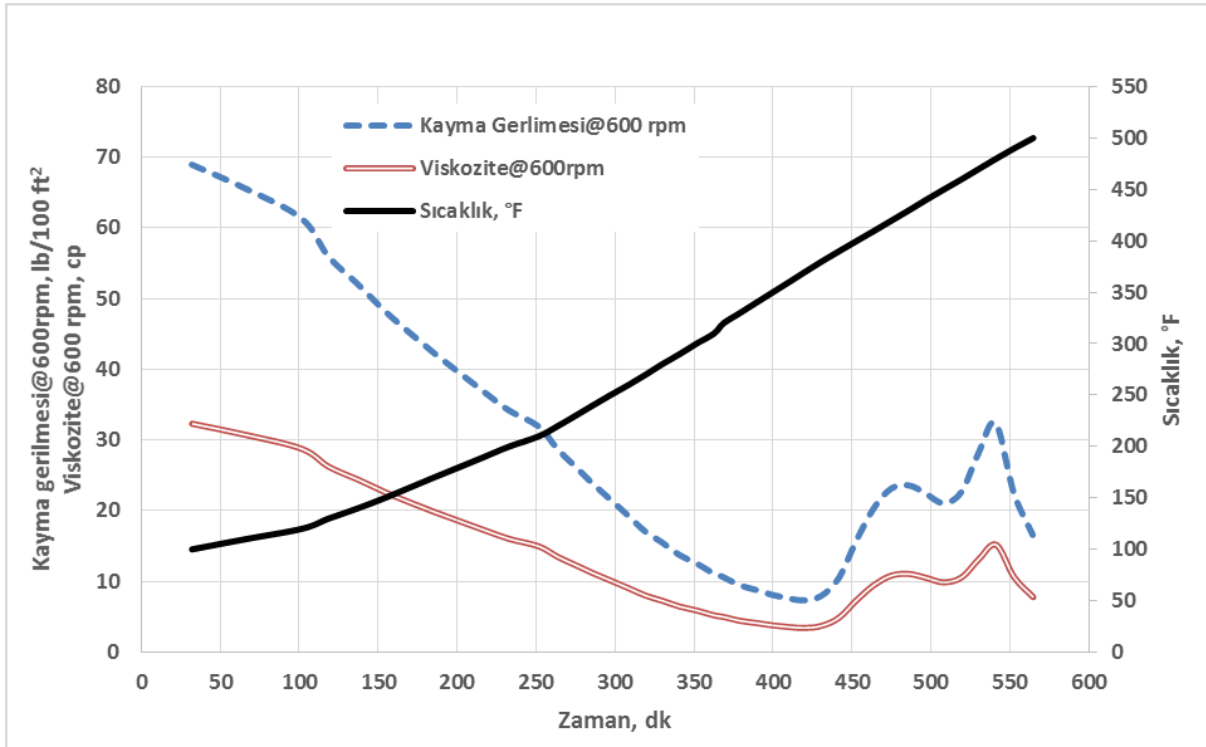


Şekil 4. Sıcaklığın reolojiye etkisi, (Bentonit/polimer çamur, YSYB reometre, Klasik viskometre).

3.3. Sepiolit Çamuru Viskozite Davranışı

Isıl reometre kullanılarak elde edilen reolojik davranış değişimi Şekil 5'te verilmektedir. Grafikte sepiolit çamurunun 600 dev/dak hızda elde edilen kayma gerilesi ve viskozitesinin sıcaklık ile olan değişimi görülmektedir. Sıcaklık artışı kontrolü diğer iki çamurdaki gibi doğrusal artmakta ve yaklaşık 560 dak'da maksimum test sıcaklığına ulaşmaktadır. Reoloji davranışı diğer çamurlara benzemekle birlikte, sepiolit çamurunun kararlılığını yitirmesi diğerlerine göre çok daha yüksek sıcaklıkta gerçekleşmektedir.

Düşük sıcaklıklarda sepiolit çamuru hem lignosülfonat çamurundan hem de bentonit/polimer çamurundan daha yüksek reolojik değerler vermektedir. Ancak, 300° F sıcaklığın üzerinde aynı sıcaklık değerleri için hem bentonit/polimer hem de lignosülfonat çamuruna göre çok daha yüksek ve etkin viskozite değerleri geliştirmektedir. Isıl reometre deneylerinde 400° F sıcaklıkta bentonit/polimer çamuru herhangi bir viskozite değeri vermez iken ve lignosülfonat çamurunun bu sıcaklıkta verdiği reoloji değeri oldukça küçük gözlenirken, sepiolit çamuru kayda değer yükseklikte reoloji sağlamaktadır. Ayrıca, 380° F sıcaklığın üzerinde gözlenen viskozite artışı çamurun floküle olmaya başlaması nedeniyledir. Diğer bir ifadeyle, sepiolit çamurları diğer iki çamur türüne göre çok daha yüksek sıcaklıklarda floküle olacağı için, sıcak ortamlarda (jeotermal sahalar gibi) açılacak kuyulara iyi bir aday çamur olabileceği söylenebilir.

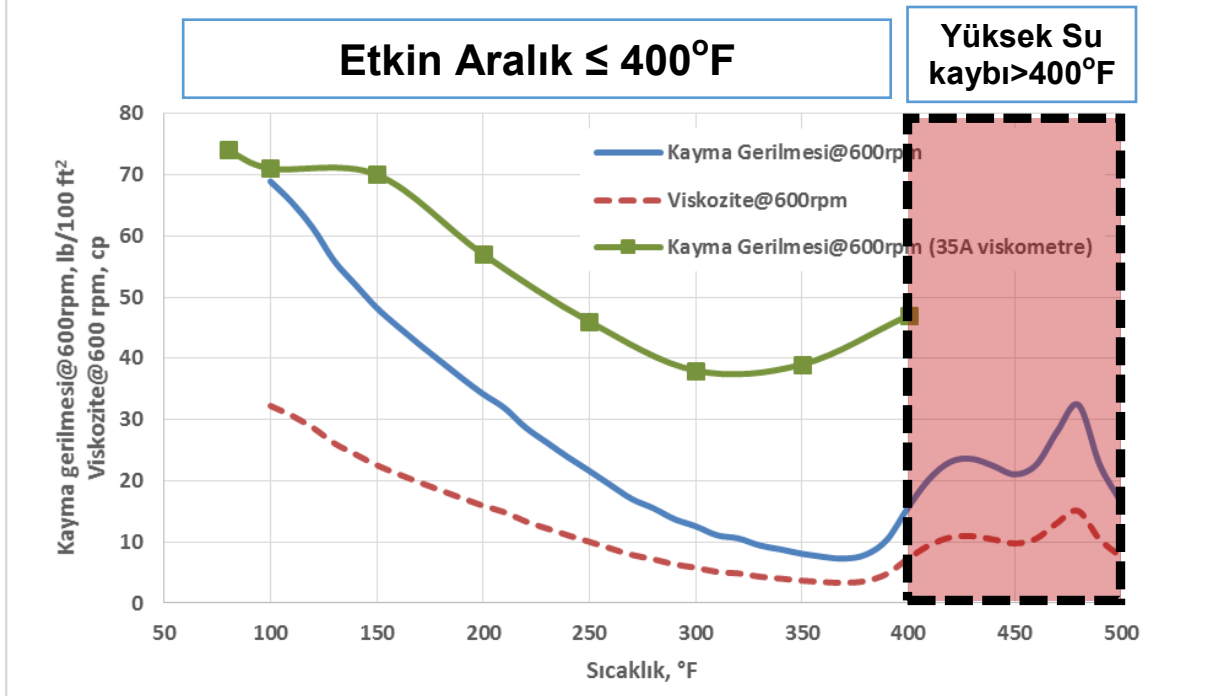


Şekil 5. Sıcaklığın reolojiye etkisi, (Sepiolit çamur, YSYB reometre, 700 psi basınç farkı).

Sepiolit çamur türü için klasik viskometreden elde edilen sonuçlar ile ısıl reometreden elde edilen sonuçlar Şekil 6'da çizdirilerek karşılaştırma yapılmıştır. Klasik viskometreden elde edilen viskozite değerleri ısıl reometreden elde edilen viskozite değerlerinden bentonit/polimer çamur türünde olduğu gibi oldukça yüksektir ve ısıl reometreden elde edilen kayma gerilmelerinden beklendiği gibi daha büyük değerler vermektedir. Diğer taraftan, klasik viskometre ile ısıl reometre sonuçları arasındaki fark artan sıcaklık ile daha da artmakta ve artış oranı 370° F sıcaklıkta yaklaşık beş kat daha fazladır.

Su kaybı ölçüm sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde sepiolit çamurlarının 400° F sıcaklığa kadar etkin bir reoloji sağlayabildikleri gözlenmektedir. Diğer iki çamur türünün aksine yüksek sıcaklık

ortamında bu çamurların kullanılmaları oldukça uygun görünmektedir ve kuyu stabilitesi sorununa neden olmadan 400° F sıcaklığa kadar kullanıldıklarında rakiplerine göre önemli avantaj sağlayabilecektir. Ancak, özellikle sepiolit çamurlarının kuyunun sondajında kullanılması durumunda klasik viskometre sonuçlarıyla yapılacak olan hidrolik optimizasyon vb. analizlerde hata oranı da diğer iki çamur türüne göre daha önem kazanacaktır.



Şekil 6. Sıcaklığın reolojiye etkisi, (Sepiolit çamur, YSYB reometre, Klasik viskometre).

SONUÇ

Sondaj akışkanlarının reolojik davranışlarının sıcaklık altında gösterdiği değişimin incelendiği bu çalışmada iki farklı yöntem kullanılmıştır. Yöntemlerden ilki klasik yöntem olarak adlandırılan ve ısıtma yapılarak yapılan çamur örneklerinin oda sıcaklığına soğutulduktan sonra reolojik davranışlarının klasik viskometre (Fann 35A) ile belirlenmesidir. Diğer yöntem ise, kuyu koşullarını daha iyi canlandırabilen ısıtma reometre (Fann Model 50SL) kullanılarak sıcaklık ile reoloji değişiminin doğrudan belirlenmesidir.

Her iki yöntem uygulanarak lignosülfonat, bentonit/polimer ve sepiolit olmak üzere üç farklı çamur türü için sıcaklığın reolojik davranış üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Genel beklenti, klasik viskometreden elde edilen reoloji değerlerinin her sıcaklıkta daha yüksek değerler vermesidir. Bentonit/polimer ve sepiolit çamurları bu beklentiyi her sıcaklıkta doğrularken, lignosülfonat çamurunun ancak 200° F sıcaklığa kadar daha yüksek değer verdiği, daha yüksek sıcaklıklarda ise ters bir davranış göstererek daha düşük reoloji verdiği belirlenmiştir.

Klasik viskometre ve ısıtma reometre arasındaki farklılık en fazla sırasıyla sepiolit, bentonit/polimer ve lignosülfonat çamurlarında görülmektedir. Bununla birlikte, klasik viskometre sonuçlarından alınan reolojik değerler ile yapılacak olan sondaj hidrolik optimizasyonundan en fazla etkilenecek çamur türünün de sepiolit çamuru olduğu gözlemlenmektedir.

Isıtma reometre kullanımının diğer bir avantajı artan sıcaklıkla birlikte çamur flokülasyonunun doğrudan gözlemlenmesine olanak sağlamasıdır. Çamurların anılan sıcaklık değerlerinde vermiş



oldukları su kayıpları ile birlikte değerlendirildiğinde, sıcaklığa karşı en yüksek stabiliteyi sepiolit çamurun sağladığı, onu sırasıyla lignosülfonat ve bentonit/polimer çamurunun izlediği görülmektedir. Sepiolit çamuru 400° F sıcaklığa kadar yapısını koruyabilirken, lignosülfonat ve bentonit/polimer çamurunun 250° F'a kadar dayanım gösterdiği gözlenmektedir. Bu yönüyle karşılaştırıldığında, sepiolit çamurlarının jeotermal sahalar gibi yüksek sıcaklıklı ortamlarda açılacak kuyularda sondaj akışkanı olarak kullanılmalarının avantajlı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **BOURGOYNE A. T. Jr. vd.** 1991, "Applied Drilling Engineering", SPE textbook, vol. 2, Richardson, TX, USA.
- [2] **API RP13B-1.**, (2004): Recommended practice for field testing water-based drilling fluids, 3rd edition, July 2004.
- [3] **Carney, L.L., and Meyer, R.L.**, 1976: A New Approach to High Temperature Drilling Fluids, *Proceedings*, SPE Paper No: 6025, 51st Annual Fall Meeting of Society of Petroleum Engineers, New Orleans, LA.
- [4] **Carney, L.L., and Guven, N.**, 1980: Investigation of Changes in the Structure of Clays During Hydrothermal Study of Drilling Fluids, *Article, Journal of Petroleum Technology*, pp. 385-390, October.
- [5] **Carney, L.L., Guven, N., and McGrew, G.T.**, 1982: Investigation of High-Temperature Fluid Loss Control Agents in Geothermal Drilling Fluids, *Proceedings*, SPE Paper No: 10736, California Regional Meeting, San Francisco, CA, USA, March 24-26.
- [6] **Hillscher, L.W. and Clements, W.R.**, 1982: High-Temperature Drilling Fluid for Geothermal and Deep Sensitive Formations, *Proceedings*, SPE Paper No: 10737, California Regional Meeting, San Francisco, CA, USA, March 24-26.
- [7] **Moussa, M.M.**, 1985: Dynamic Measurement of Drilling Fluid Rheology at Elevated Temperature and Pressure, *Proceedings*, SPE Paper No: 13691, *Middle East Oil Technical Conference and Exhibition*, Bahrain, March 11-14.
- [8] **Guven, N., Panfill, D.J. and Carney, L.L.**, 1988: Comparative Rheology of Water Based Drilling Fluids With Various Clays, *Proceedings*, SPE Paper No: 17571, *International Meeting on Petroleum Engineering*, Tianjin, China, November 1-4.
- [9] **Zilch, H.E., Otto, M.J. and Pye, D.S.**, 1991: The Evolution of Geothermal Drilling Fluid in the Imperial Valley, *Proceedings*, SPE Paper No: 21786, *Western Regional Meeting, Long Beach, CA, USA*, March 20-22.
- [10] **Serpen, U., Hacıislamoglu, M. and Tuna, O.**, 1992: Use of Sepiolite Resources of Turkey in geothermal Muds, *Proceedings*, 9th *International Petroleum Congress of Turkey, Ankara*, 17-21 February.
- [11] **Serpen, U.**, 1999: Use of Sepiolite Clay and Other Minerals for Developing Geothermal Drilling Fluids, *Article, Journal of Applied Mechanics and Engineering*, vol 4, special issue.
- [12] **Serpen, U.**, 2000: Investigation on Geothermal Drilling Muds with High Temperature Stability, *Proceedings, World Geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan*, May 28-June 10.
- [13] **Altun, G. and Serpen, U.**, 2005: Investigating Improved Rheological and Fluid Loss Performance of Sepiolite Muds under Elevated Temperatures, *Proceedings, World Geothermal Congress, Antalya, Turkey*, April 24-29.
- [14] **Santoyo, E; Santoyo-Gutierrez, S; Garcia, A; Espinosa, G; Moya, SL**; 2001: Rheological property measurement of drilling fluids used in geothermal wells, [Applied Thermal Engineering](#) 21, 283-302



TEŞEKKÜR

Bu çalışma 113M601 nolu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya yaptığı destek ve bulguların yayınlanması için TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

ÖZGEÇMİŞ

Ali Ettehadî OSGOUEI

1979 yılı Tebriz-İran doğumludur. Eğitim hayatına İran'da başlamış ve 2004 yılında Tebriz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2007 yılında Türkiye'de İstanbul Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamış ve 2010 yılında Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 2010 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünde sondaj mühendisliği konularında doktora eğitimine devam etmektedir.

Gürşat ALTUN

1988 yılında İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1993 yılında Yüksek Mühendis ve Louisiana Eyalet Üniversitesinden (ABD) 1999 yılında Doktor unvanını almıştır. 2000 yılından itibaren İTÜ Maden Fakültesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Sondaj mühendisliği, Kuyu tamamlama ve Kuyu logları konularında çalışmaktadır.

Umran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra, 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarında çalışmıştır. 1987 yılına kadar İtalyan Electroconsult mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerde çeşitli jeotermal projelerde danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından beri öğretim görevlisi olarak hizmet verdiği İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü'nde 2010 yılında Doçent unvanı ile emekli olmuştur. Halen aynı Bölümde Okutman olarak ders vermeye birlikte serbest danışman olarak mesleğini icra etmektedir.

